CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA DE EDIFICIOS

(INDUSTRIALIZED CONSTRUCTION OF BUILDINGS)

José Penadés Martí, Ingeniero de Caminos. Dragados Obras y Proyectos S. A.

Fecha de recepción: 26-II-02

ESPAÑA

195-1

RESUMEN

En este artículo se analizan algunos ejemplos sobre la prefabricación de edificios. Desde el caso que se podría considerar como ideal, la prefabricación integral de viviendas en Japón hasta el análisis de algunas obras, más o menos industrializadas, realizadas en España.

SUMMARY

In this article several examples about industrial construction of buildings are analysed. One of these examples, considered to be the best in complete prefabricated construction of buildings, refers to the housings built in Japan. Other cases analysed are buildings constructed in Spain with different prefabricated levels.

1. INTRODUCCIÓN

Al comienzo del siglo XXI, todavía podemos constatar los escalofriantes datos de siniestralidad laboral en el mundo de la construcción en España. También son demasiado frecuentes los casos de patologías detectadas en los edificios que se construyen, pese al gran esfuerzo normativo de los últimos años y la introducción de sistemas de aseguramiento de la calidad por parte de las empresas.

La falta de formación específica del personal obrero que se dedica a nuestra industria, que es cada vez menor, unido a la utilización de sistemas constructivos tradicionales, que requieren una aceptable capacitación profesional de los operarios en cada una de las especialidades son unas de las principales causas de los síntomas señalados en el párrafo anterior.

Los procesos constructivos están, en general, poco estudiados, y esto lleva a un gran desperdicio de recursos, tanto humanos como materiales, a un incremento innecesario de los riesgos y a una calidad inadecuada del producto final, en nuestro caso la obra de edificación.

Cuando planificamos una obra no podemos hacer la hipótesis, porque no es cierta, de que el mercado tiene recursos disponibles en cantidad y calidad para hacer frente a todas las necesidades de cada una de nuestras obras. Durante los últimos años hemos podido experimentar la escasez de mano de obra y de algunos materiales, que ha llevado indudablemente a unos incrementos excesivos de los costes de producción, a grandes dificultades para el cumplimiento de los plazos de las obras y a numerosas incidencias en relación con la calidad final del producto.

La necesidad de asegurar el cumplimiento de los objetivos empresariales de coste de producción, la calidad de las obras de acuerdo con lo contratado y el plazo de ejecución obliga a la introducción en el proceso constructivo de técnicas de industrialización en el mayor grado que sea posible.

No podemos olvidar que la introducción de sistemas constructivos industrializados o elementos prefabricados en los edificios es sólo posible con éxito si se tiene en cuenta esta posibilidad desde la concepción del proyecto. La adaptación de sistemas industrializados a proyectos concebi-

dos con sistemas constructivos tradicionales tiene riesgos importantes, y en todo caso necesita un tiempo para el proyecto específico de los sistemas a emplear así como para validar la compatibilidad del resto del proyecto con los sistemas que se introducen. Es claro que se puede ahorrar un tiempo muy valioso, así como optimizar el coste de las obras, si en la fase de diseño previo intervienen los especialistas en prefabricación e industrialización asesorando al proyectista.

Uno de los factores que debería ayudar a incrementar los niveles de prefabricación en edificación es el respeto al medio ambiente. En zonas urbanas, que es el ámbito en el que se construye la mayor parte de los edificios, es indudable el impacto que tiene para el entorno próximo la realización de una obra, que es directamente proporcional al plazo de su ejecución. Utilizar tecnologías que reduzcan este impacto es una necesidad que la sociedad demandará con mayor fuerza, y aquí tenemos una buena razón para prefabricar más, pues prefabricando podemos reducir considerablemente los plazos de las obras, dado que una buena parte de los procesos de producción los podemos realizar en el taller o la factoría de prefabricación, dejando para realizar en el lugar de las obras los trabajos de ensamblaje de los distintos elementos que constituyan nuestro edificio.

Es claro que cuando se habla de prefabricación, no siempre estamos hablando de una prefabricación integral, que sería el último estadio, que nos permitiría llegar a realizar

Planta y secciones de Sala multiusos en Alcoy (Alicante). Arq. Santiago Calatrava.

las obras en un plazo mínimo, sino que también nos referimos a la prefabricación de una parte de las obras, muy especialmente la estructura, y en un segundo nivel de importancia, los cerramientos de fachada, las distribuciones y las instalaciones.

En primer lugar, se analizarán ejemplos de lo que se puede entender como el ideal de la industrialización en edificación, la prefabricación integral de viviendas, muy lejos todavía de nuestra situación actual, tal como es el caso japonés. En segundo lugar se describirán algunas de las obras industrializadas ejecutadas por Dragados, y en particular la recientemente terminada estructura del Aparcamiento del Nuevo Área Terminal del Aeropuerto de Madrid-Barajas, obra que se ha realizado en el plazo previsto en el programa sin un solo día de desviación sobre las previsiones, lo que es un buen aval para los que defendemos la industrialización de los procesos constructivos en la Edificación.

2. LA PREFABRICACIÓN INTEGRAL DE VIVIENDAS. EJEMPLO JAPONÉS

En el mercado, ya globalizado para algunos productos, hay una necesidad creciente de nuevas viviendas, y en los países más desarrollados el coste de una vivienda construida por métodos tradicionales es cada vez más alto. La industria de la construcción debe ser capaz de hacer frente al reto de poner en el mercado la suficiente cantidad de viviendas, con una calidad adecuada y al mínimo coste posible.

Deberían tenerse en cuenta los logros de otras industrias, de las que un caso a imitar sería la del automóvil, que han sido capaces, mediante técnicas de fabricación muy depuradas, conseguir una producción de vehículos de calidad creciente y un precio cada vez más reducido. Los factores que han contribuido a reducir costes de producción son la economía de escala, la optimización de los procesos de producción, introduciendo las técnicas de estudio del tra-

Sala multiusos en Alcoy (Alicante). Arq. Santiago Calatrava.

Vila Universitaria de la Universidad Autònoma de Barcelona. Arqs. Carles Buxadé y Joan Margarit.

Módulos prefabricados realizados en la factoría de Sekisui.

Vista de la factoría de Sekisui.

bajo, y la robotización y automatización de una gran parte de estos procesos. No hay razón para que no se produzcan viviendas en una cadena de montaje similar a las de una factoría automovilística. Pero no es nada frecuente encontrarse con industrias de construcción funcionando con estas tecnologías de producción.

Es ejemplar, y podríamos fijarlo como cota superior a la que necesariamente deberíamos tender en el futuro, al menos los países más industrializados, la situación del mercado japonés de prefabricación de viviendas.

Japón es un país con una población cercana a los 130 millones de habitantes, con una producción anual de nuevas viviendas en el entorno del 1% de dicha población. Debido a la incidencia de los numerosos terremotos y tifones, el promedio de vida de una vivienda tradicional es de sólo

15 años. Esto hace que la tipología de la vivienda tradicional sea la de vivienda barata y ligera, con el fin de minimizar los riesgos frente al sismo.

En el año 1999 se construyeron 1.226.000 nuevas viviendas, de las cuales 262.000 fueron prefabricadas, lo que representa un 21% del total. Estas cifras señalan una gran diferencia con el resto del mundo, en donde no se alcanza ni siquiera el 10% en ningún país, de viviendas prefabricadas respecto al total de viviendas nuevas construidas.

Un ejemplo de empresa de prefabricación integral de viviendas en Japón es el de Sekisui Chemical, que produce al año 23.000 viviendas en ocho factorías distribuidas estratégicamente en el país para minimizar costes y tiempo de transporte. Cada una de ellas produce 3.000 viviendas anuales.

Las viviendas producidas en cada una de estas factorías se construyen a base de módulos espaciales que poseen una estructura formada por un entramado metálico calculado y ensayado para resistir vientos de 240 mph y terremotos de intensidad 7,8 en la escala de Richter. Se trata de viviendas altamente automatizadas que incorporan tecnologías de punta y numerosas innovaciones tanto en materiales como en sistemas, procedentes de la I+D de la compañía matriz, una empresa del sector químico, con numerosos centros de investigación.

El negocio incluye la venta, producción y montaje en obra, y el personal se distribuye al 50% entre los que trabajan en las factorías de producción y el resto (venta y trabajos en obra).

Los trabajos previos de preparación en obra, antes del montaje de los módulos prefabricados, se realizan en un promedio de 10 días. El transporte al emplazamiento de la obra se suele realizar por la noche, y el montaje en obra, en menos de un día, y los posteriores al montaje (jardinería, cercas, control) se ejecutan en un tiempo promedio de 30 días. El tiempo máximo para el proceso completo en obra tiene un límite de 50 días.

El tamaño de las viviendas oscila entre 90 y 280 m², con un promedio de 130 m², 13 módulos volumétricos. Su coste oscila entre 100.000\$ y 400.000\$ sin contar los costes del terreno.

Los parámetros cualitativos de una vivienda de este tipo se clasifican en las siguientes categorías:

Seguridad.- Resistencia al sismo, los tifones y al fuego. En lo referente al fuego el tiempo RF es de 15 minutos.

Durabilidad.- Todos los materiales son resistentes a la corrosión y al ataque de insectos y hongos. El fabricante garantiza las viviendas durante 10 años para todos los riesgos.

Confort de uso.- La calefacción, alumbrado y sistemas de comunicación, se diseñan desde el inicio de acuerdo con el gusto del cliente. Los cambios que más tarde solicita éste, por equivocaciones o por descubrir nuevas necesidades son incorporados con facilidad. Se utilizan materiales resistentes al polvo, con lo que la vivienda es fácil de limpiar y mantener.

Flexibilidad.- El diseño modular admite ampliaciones y cambios futuros que se realizan con facilidad y sin que se noten una vez realizados.

Costes.- El fabricante afirma que vende no por el coste inicial sino por el coste a lo largo del ciclo completo de la vida de la vivienda, del que forman parte importante unos costes reducidos de operación y mantenimiento. Su objetivo es competir con el coste de la vivienda de entramado

de madera tradicional. Actualmente, el coste inicial por metro cuadrado es similar, pero la calidad de la vivienda prefabricada es superior.

Plazo de construcción.- El proceso total, que incluye preparación del terreno, cimentación, construcción, acabado interior y exterior, y correcciones y cambios posteriores a la inspección, tiene un límite máximo de 50 días.

La división de viviendas de Sekisui es un ejemplo de compañía japonesa en evolución hacia lo que los japoneses mismos llaman "post-TQM, post-JIT operations".

"Post" no significa que la calidad del trabajo no sea ya importante. Todo lo contrario, una compañía que ha dominado las bases de la calidad debe ahora combinarla con tecnología e imaginación y redefinir los conceptos de su negocio.

Algunos de los aspectos que ilustran el nuevo y radical planteamiento del negocio son:

Involucrar al cliente en el negocio.- Un cliente puede diseñar su propia casa dentro de unos límites. No es que puedan hacer cualquier cosa imaginable: muchas ideas son locuras en función de distintos aspectos, pero no todas. Se pretende hacer posibles las nuevas ideas. Parte del Servicio al cliente consiste en enseñarle cómo se puede funcionar en una casa inteligente.

Proporcionar seguridad al cliente.- Cuando un cliente de "una casa de tres días" más adelante quiere ampliarla o remodelarla, debe ser atendido de inmediato. Con las tecnologías de diseño e información utilizadas esto debe ser también un buen negocio.

Ambientalmente "no impactante".- Es un aspecto muy cuidado, empezando por el largo ciclo de vida para el que se diseñan las viviendas.

Basada en tecnologías informáticas.- Esto permite personalizar la vivienda al gusto del cliente, sin perder la eficacia de una economía de escala (de la producción masiva).

Con un sistema que integra la totalidad de las operaciones.- Las plantas de Sekisui son ejemplos muy avanzados del Sistema de Producción de Toyota. Con este sistema se logra una mayor satisfacción del cliente junto con un menor desperdicio de materiales y tiempo.

3. OBRAS INDUSTRIALIZADAS

3. 1. La Vila universitaria de la UAB

Aún cuando se trata ya de una obra realizada hace 10 años, un buen ejemplo para explicar las tecnologías de indus-

trialización y prefabricación es el de la Vila Universitaria de la Universidad Autónoma de Barcelona, que consta de 584 viviendas, un hotel de 100 habitaciones, área comercial (actual Escuela de Hostelería) y urbanización, con un plazo de ejecución de 13 meses, sin posibilidad de prórroga por estar comprometida su utilización durante los JJOO de Barcelona '92.

¿Cómo podemos abordar el problema, como contratistas, cuando se contrata una obra con un volumen suficiente para introducir tecnologías avanzadas de construcción, tales como la industrialización y la prefabricación?

También debería ser el planteamiento del proyectista, cuando su cliente le encarga un proyecto, tener en cuenta la posibilidad de la introducción de estas tecnologías que permitieran optimizar el coste y asegurar que la obra puede construirse en el mínimo plazo posible y con la calidad adecuada.

Indudablemente, para los dos casos, punto de vista del contratista ante una obra a licitar o contratada o punto de vista del proyectista la filosofía a aplicar debería ser "industrializar todo lo industrializable" y "prefabricar todo lo prefabricable". No obstante, estamos todavía muy lejos de que la mayor parte de los proyectistas y de los técnicos de las empresas constructoras estén mentalizados para actuar de este modo.

Sin embargo se presentan oportunidades en que se puede hacer un enfoque de este tipo, cuando hay factores que coadyuvan a la decisión de prefabricar, generalmente impuestos por el cliente. El más importante de estos factores es la necesidad de minimizar el plazo de construcción de las obras y garantizar que va a ser posible su cumplimiento.

Éste es el caso, cada vez más frecuente, en edificación industrial y comercial, donde un ahorro del plazo de ejecución de las obras es muy bien valorado por el cliente que consigue rentabilizar mejor la inversión realizada en terreno y construcción de su factoría o centro comercial, con la puesta en servicio lo más pronto posible, o garanti-

zando el funcionamiento al inicio de una campaña determinada.

En el caso del ejemplo, la Vila Universitaria de la UAB, se daban las circunstancias siguientes, a favor de la industrialización y prefabricación:

- plazo muy corto, que era necesario asegurar
- escasez de mano de obra
- escasez de materiales tradicionales
- buena disposición del cliente a soluciones innovadoras

3.1.1. Criterios de proyecto

En la fase de Proyecto, los autores realizaron consultas a las distintas empresas constructoras, finalmente invitadas al concurso de ejecución, para que les informaran de los sistemas constructivos disponibles que pudieran garantizar el cumplimiento de los plazos en unas circunstancias de mercado muy difíciles, teniendo en cuenta que todas las obras olímpicas ya se habían iniciado.

Los criterios básicos adoptados en Proyecto fueron:

- modulación de la estructura
- prefabricación de fachadas
- tabiquerías de yeso laminado
- racionalización de las instalaciones

Estos criterios deberían ser aprovechados por la constructora, disponiendo en obra de medios importantes de ejecución que, trabajando con procedimientos industrializados, aseguraran la terminación de la obra en la fecha prevista.

3.2. Estructura

Los elementos verticales de la estructura son muros de hormigón, de 15 cm de espesor, salvo los muros extremos de cada pórtico, que tiene 25 cm.

Encofrado de losas de la Vila Universitaria.

Extracción de mesa por fachada.

Los elementos horizontales son losas macizas de 15 cm de espesor, salvo las primeras losas, en planta baja, que arriostran los elementos de cimentación y tienen 25 cm.

Para la ejecución de la estructura se presentaron distintas opciones por los licitadores, desde la ejecución de muros y losas "in situ" utilizando encofrados convencionales, hasta la prefabricación de la estructura, o realización de muros "in situ" y ejecución de los forjados utilizando prelosas.

En el caso de Dragados, que fue la empresa adjudicataria, se ofertó la realización de la estructura utilizando grandes encofrados para los muros y mesas para el encofrado de losas, de 60 m² de superficie. Todo el sistema de encofrados estaba pensado para ser ejecutado mediante grúas-torre con 3.000 kg de capacidad de carga en punta.

La primera fase de la obra, las 584 viviendas, se realizó utilizando dos equipos de trabajo en 88 y 92 ciclos diarios, con grúas de 70 m y 55 m de pluma, respectivamente.

La clave del éxito del sistema estriba en el estudio minucioso del ciclo diario de trabajo, que permite ajustar el dimensionamiento del equipo, que básicamente consta de grúa, mano de obra de encofrado y hormigonado y ferrallistas.

3.2.1. Prefabricación de prelosas

Dentro de la estructura había un caso particular para el que no era posible utilizar los encofrados previstos: la losa de planta baja, que dejaba un hueco sanitario de altura variable. En este caso, había varias opciones: recurrir a losas prefabricadas aligeradas, por ejemplo alveolares, ejecutar las losas usando encofrados tradicionales y apuntalando por medios también tradicionales, o bien, que fue la opción finalmente adoptada, prefabricar prelosas, que

inicialmente se calcularon para ser colocadas con una soppanda central, y finalmente se diseñaron para ser autoportantes.

Las prelosas se prefabricaron en taller de obra, realizándose la colocación de las prelosas y el hormigonado final de la losa de planta baja con equipos de trabajo independientes de los del resto de la estructura, utilizando grúa móvil como medio principal. Las tareas de hormigonado y movimiento de piezas en taller se realizaron con la utilización de una grúa móvil.

El resto de la estructura se realizó utilizando grandes encofrados, con un equipo total de 1.230 m² de encofrado de muro (banches) y 1.220 m² de tableros para losas (28 mesas).

Estos medios se distribuían en dos equipos de trabajo, con 10 encofradores, 6 ferrallistas y un electricista cada uno, y las grúas ya citadas anteriormente.

El rendimiento de cada ciclo de trabajo era de 250 m² de estructura terminada.

Podía haberse optado por prefabricar la estructura completa, o bien prefabricar prelosas para toda la estructura. Se desearon estas posibles soluciones a favor de la ejecución "in situ" de la estructura por varias razones, entre las cuales la más importante en aquel momento era la disponibilidad de las mesas de encofrado en la fecha de comienzo. Las dimensiones óptimas de las crujías y el encaje de un ciclo de trabajo muy ajustado hacían además más barata la solución "in situ" respecto a la prefabricada, que con el tipo de obra lineal hubiera obligado a una carga y transporte horizontal suplementarios.

Una condición de contorno en el momento de la ejecución era la dificultad de conseguir apoyo de la industria auxiliar, totalmente ocupada por las otras obras olímpicas, que llevaban a la nuestra ventaja en el inicio. Era importante

Prefabricación de prelosas. Detalle del hormigonado.

Detalle de las losas prefabricadas.

Vista general en construcción de la Vila Universitaria de la Universidad Autònoma de Barcelona. Fase de ejecución de estructura.

tener controlados y asegurados en obra todos los medios necesarios para garantizar la ejecución en el plazo comprometido. De ahí la decisión de contratar personal propio para realizar la estructura, o la instalación en el recinto de las obras de una central de hormigonado con una producción de 70 m³/h.

3.2.2. Prefabricación de escaleras

La ejecución de la estructura por un sistema industrializado, con un ciclo diario de trabajo muy ajustado, tenía como consecuencia la imposibilidad de compartir los medios con otros trabajos no incluidos en el ciclo diario.

Las escaleras eran susceptibles de ser prefabricadas. Tenían una geometría adecuada, y la obra disponía de un taller de prefabricación que estaba ya funcionando fabricando prelosas para la ejecución de los forjados sanitarios.

Por todo ello se propuso la ejecución en el taller de prefabricación a pie de obra de las escaleras, dedicando la colocación un equipo de trabajo independiente con una grúa móvil como medio de elevación. El número total de tramos de escalera prefabricados, que eran de un solo tiro, fue de 45.

Durante la fase de prefabricación de prelosas y escaleras, el equipo de prefabricación disponía de dos zonas con las correspondientes mesas de prefabricación, atendidas por un equipo de tres personas que trabajaban alternativamente en ambas. El hormigón era suministrado por la central ya instalada en el recinto de la obra y tenían una grúa móvil para todas las operaciones en la planta.

3.3. Fachadas. Proyecto de prefabricación

El presupuesto del Proyecto establecía que los cerramientos de fachada debían ser prefabricados de hormigón arquitectónico. En la fase de licitación se definió por la Propiedad y Dirección de Obra el tipo de acabado a conseguir.

Sin embargo, no se había desarrollado un proyecto de prefabricación, por lo que fue necesario acometer esta tarea inmediatamente después de adjudicadas las obras, y mientras se estaba ya ejecutando la estructura.

En la primera fase, que incluye las viviendas, hay dos fachadas muy diferentes.

En la Fachada Sur, en cada uno de los distintos bloques de 70 m de largo cada uno, el prefabricado está situado en un

Vista parcial del plano de planta de la Vila Universitaria.

solo plano, por delante de la estructura de hormigón. La colocación es, en este caso, muy sencilla, pudiendo absorberse perfectamente y repartirse entre las juntas del prefabricado las tolerancias admisibles en la estructura de hormigón.

La Fachada Norte, en la que se encuentran los pasillos de acceso y las entradas a las viviendas, que están retranqueadas hacia el interior, es mucho más compleja, porque además tiene los muros de hormigón, perpendiculares a la fachada, que salen de ésta para sujetar las losas de los pasillos de acceso.

En esta fachada se daban varios problemas:

- paneles encajados entre los dos muros de hormigón salientes, con tolerancias mayores a las admisibles en prefabricación, y con dificultades para el encaje de los paneles
- pasillos de acceso formados con paneles de peto, que tienen como cara vista la exterior
- paneles interiores de difícil colocación, a casi 3 m del borde del forjado, que además están colocados entre dos losas de forjado
- los paneles de peto de pasillos tapan en gran parte el cerramiento del edificio en esta fachada.

Con esta problemática, es lógico constatar que el resultado final de la fachada Norte es menos satisfactorio que el de la Sur.

Al desarrollar el Proyecto de Prefabricación pudo constatar que, aún existiendo en el momento de la redacción del Proyecto la voluntad de prefabricar, el número de tipos distintos de paneles era excesivo:

- 127 tipos en la primera fase (viviendas), con un total de 4.641 paneles y 29.300 m² de fachada cerrada.

Montaje de paneles en fachada Norte.

- 196 tipos en la segunda fase (hotel y área comercial). Con un total de 1.128 paneles y 7.154 m² de fachada cerrada

3.4. Fachadas. cumplimiento de los plazos

El volumen de las obras, con un total de 29.300 m² de cerramientos de fachadas en la primera fase y 7.200 m² en la segunda, planteaba un riesgo grave de incumplimiento de plazos, teniendo en cuenta las circunstancias del mercado en aquellas fechas. Los talleres de prefabricación estaban todos ocupados y para la calidad exigida en Proyecto sólo era posible contar con la aportación de un taller que podría comenzar a preparar moldes a finales de agosto (7º mes de la obra, de un total de 13) y sacar la primera pieza a mitad de septiembre.

Además, una instalación fija tiene limitaciones en su capacidad de producción, y en este caso, con el tamaño de la factoría era imposible fabricar una punta de más de 3.000 m² al mes, con una media del orden de 2.500 m², teniendo en cuenta que habría que modificar moldes. Esto llevaba a la conclusión de que era imposible realizar la obra por este camino.

De entre las alternativas estudiadas se aceptó por la Dirección de Obra y la Propiedad, teniendo en cuenta las características de la obra, utilizar un material distinto para toda la segunda fase, que podría ser fabricado en una factoría propia de la contrata, y colocado dentro de los plazos contractuales.

Quedaba por resolver el problema de cerrar en plazo más de 29.000 m² de fachadas con una factoría que podría producir a tiempo no más de 15.000 m² de paneles.

Las únicas opciones posibles eran:

- conseguir que el Subcontratista de Prefabricación aceptara producir el doble, garantizando este compromiso

Panel tipo fachada.

Vista de la composición en fachada.

- prefabricar en obra los paneles necesarios

La primera opción no pudo acordarse, optando por prefabricar en obra, con los riesgos que eso llevaba consigo, derivados de que se quería por parte de la Dirección de Obra que todos los paneles fueran del mismo color y textura.

3.5. Fachadas prefabricadas de GRC

La puesta a disposición de la obra de la factoría de Torrejón de Ardoz, una de las que dispone Dragados, líder europeo en la fabricación de paneles de GRC, permitió resolver

los cerramientos y aplacados de fachadas de la segunda fase.

La Dirección de las Obras optó por dar a esta zona de las obras un acabado totalmente diferente al de la primera fase, eligiendo finalmente, después del correspondiente período de pruebas, un acabado exterior de árido blanco de Macael, con un decapado fino.

Los paneles de GRC utilizados estaban formados por una cáscara de GRC con aislamiento de poliestireno expandido, y el acabado exterior ya citado. El trasdosado interior se realizaba utilizando placas de yeso laminado.

Vista de la Vila Universitaria desde el área comercial.

Fachada con paneles de GRC.

La prefabricación de las 1.128 unidades de esta fase de obra se realizó en tres meses, con producciones del orden de 100 m² diarios. El transporte se hizo desde Torrejón a obra en camiones góndola, de acuerdo con el programa de montaje previsto, teniendo en obra una cantidad relativamente pequeña de paneles acopiados.

Un equipo de cuatro hombres colocaba entre 15 y 20 paneles diarios. El mayor de los paneles de esta fase medía 2,72 x 4,22 m

3.6. Fachadas prefabricadas de hormigón arquitectónico

Para las fachadas de los edificios de la primera fase (viviendas) se decidió finalmente la ejecución de paneles de hormigón arquitectónico con un cemento blanco y árido de color granate procedente de una cantera del Pirineo de Lleida, utilizando como árido más fino el polvo de cantera de la misma, y sin adición de colorantes.

Los paneles se acababan con un tratamiento superficial de chorro de arena fino.

El período de pruebas fue de tres meses, coincidiendo con la redacción del Proyecto de Prefabricación.

Los paneles se dividían en tres grandes grupos:

- de cerramiento, con hueco de ventana
- de aplacado
- petos en pasillo de acceso a viviendas y núcleos de escaleras

Los primeros se fabricaron con un espesor de 10 cm y los restantes con 9 cm

Para disminuir los riesgos relativos a la composición de las fachadas con paneles de fabricación distinta se decidió fabricar en el taller del subcontratista todos los paneles del primer grupo, además de los que iban asociados a ellos (paneles de coronación de fachadas), así como los paneles de aplacado de la fachada Sur-

La fabricación se hizo en esta factoría sobre moldes provistos de vibrador de superficie y curado por vapor. La nave de prefabricación tenía instalado un puente grúa para el manejo de las piezas y el hormigonado.

Posteriormente se hacía el tratamiento superficial de las piezas para conseguir la textura prevista, a base de chorro de arena de 6 atmósferas de presión.

Para la prefabricación de paneles de hormigón arquitectónico se disponía en la obra de una de las mesas que habían servido para la prefabricación de prelosas y escaleras, y, sobre todo, de un equipo de personas capacitado para la realización de los trabajos.

Se hicieron pruebas preliminares para ajustar una dosificación similar a la de las piezas prefabricadas en la factoría del subcontratista, y se llegó a un acuerdo con éste y la cantera para garantizar el suministro de árido a la obra.

El procedimiento de curado era distinto. En la obra no se disponía de curado al vapor, pero también se tenía la necesidad de producir dos piezas diarias por molde, estando la instalación a la intemperie, y teniendo que prefabricar

Factoría de prefabricación de paneles en obra.

Tratamiento superficial de los paneles con chorro de arena.

piezas durante los meses de invierno. Se consiguió realizar la producción necesaria utilizando cañones de aire caliente para calentar las mesas por su cara inferior, cubriendo con lonas la zona de trabajo.

Todo fue bien salvo que, a menos de quince días de terminar la fabricación, se terminó el acopio de áridos al estar cerrados los accesos a la cantera durante un mes por unas fuertes nevadas y heladas en el Pirineo. Se pudo resolver a tiempo, antes de que las consecuencias fueran irreparables, gracias a que se había planificado un acopio de este árido especial equivalente al consumo de un mes. Esta experiencia da la razón a los que defienden que una planificación no es buena si no tiene previstos los imprevistos.

En obra se fabricaron todas las piezas de petos de pasillos, así como los aplacados de los estudios. En ambos casos, una parte de las piezas eran curvas.

Para la prefabricación en obra se tuvo que instalar una central de hormigonado, así como una grúa torre adicional. El equipo de prefabricación y manipulación de los paneles fabricados lo constituían cuatro hombres, mientras que otro operario, a tiempo parcial, efectuaba su tratamiento superficial con chorro de arena.

3.7. Acopio en obra de los paneles

El procedimiento ideal para reducir el coste de manipulación de paneles en obra consiste en transportar las piezas desde la factoría directamente al tajo, quedando las góndolas de transporte situadas en el momento oportuno a pie de grúa, con los paneles dispuestos en el orden correcto para su colocación.

Teniendo en cuenta que la fabricación de paneles va a tener casi siempre un ritmo propio distinto del de la colocación, nos vamos a encontrar con la necesidad de acopiar paneles, bien en la factoría o bien en la obra, o en ambas a la vez. En cada caso particular, los condicionantes de espacio, tiempo, transporte y tipología de los paneles influirán en cómo se dimensionan y organizan los acopios.

Tanto en un caso como en otro, el acopio supone un coste adicional, y convendrá aclarar en el momento de la contratación de la fabricación de los paneles cómo se efectúa el suministro y cómo se facturan los paneles suministrados.

Lo que debe evitarse en todo caso es que se produzcan otros costes intermedios adicionales por la manipulación de los paneles, caso que se puede dar si no se planifican cuidadosamente los acopios, de manera que queden siempre situados dentro del radio de acción de la grúa que debe colocarlos en obra, y que sea siempre posible la carga de un panel de determinado tipo sin que lo impida otro.

En el caso que nos ocupa se decidió organizar baterías de acopios, que ocupando una superficie de menos de 500 m² (18,80 x 26,00 m) podían alojar hasta 342 paneles, todos ellos accesibles directamente.

El elemento básico utilizado fue el caballete tipo, al que se le exigía la condición de que pudiera soportar una carga total de 40 toneladas, que fuera fácil de transportar, teniendo en cuenta la linealidad de la obra y para mantener siempre el acopio bajo el radio de acción de la grúa en la posición en la que debía ser colocado cada panel, y que permitiera ser vaciado para colocación de paneles y llenado a la vez. Este caballete era válido para los paneles de planta baja y tipo (68% del total). Para el resto se prepararon suplementos de menor altura. El conjunto de caballetes tipo y suplementos agrupados constituía una batería de acopios. Para disminuir el riesgo de manchas y roturas, los paneles reposaban sobre tabloneros. Para proteger el retorno en el punto de apoyo se colocaban esponjas.

Uno de los equipos de colocación utilizó otro sistema de acopio, similar al utilizado en la factoría de prefabricación y que obliga a que los paneles estén dispuestos según su orden de montaje.

3.8. Montaje de los paneles

Las piezas de hormigón arquitectónico se movían utilizando un palonier, y suspendidas de la grúa hasta su suje-

Detalle de la fachada Norte.

Vista de la fachada Norte con paneles hechos en obra.

ción definitiva. Se experimentó con un palonier especial que permitía que la grúa no esperara a la colocación, pero no dio muy buen resultado. Los movimientos de ajuste del panel eran más lentos y más incómodos para el equipo.

En la fachada tipo de viviendas y estudios el panel de arranque apoyaba sobre un recrecido del forjado, teniendo en cuenta que el nivel teórico del suelo de la vivienda es el mismo que el del pavimento exterior.

La sujeción de todos estos paneles se realiza mediante carriles Halfen situados en el panel y casquillos empotrados en la losa de techo y suelo.

En este caso el montaje se puede realizar trabajando en el trasdós del panel, desde el que hay total accesibilidad a los elementos de anclaje.

Los petos de cubierta se realizaban apoyando el tacón sobre la losa de cubierta, y una vez nivelado el panel se sujetaba a ésta mediante dos angulares atornillados a los carriles Halfen que llevaba incorporado el panel y al casquillo correspondiente empotrado en el forjado. También se realizaba una junta húmeda, formada al hormigonar conjuntamente una armadura de conexión colocada en el borde de la losa de cubierta y la armadura preparada en el exterior del panel.

En el caso de los paneles de aplacado, al no ser accesible el trasdós, se sujetaron los paneles mediante tacos HKD de HILTI M-20 con tornillo y arandela en el muro de hormigón posterior, angular con dos colisos rasgados (el superior a 45°) y casquillo M-14 incorporado al panel en su canto superior con una varilla roscada.

3.9. Otros elementos prefabricados

Para aprovechar al máximo la capacidad de producción de la planta de prefabricación instalada en obra, y teniendo en cuenta la necesidad de prefabricar jardineras, pape-leras, ceniceros, pilonas, elementos verticales para bancos, etc. se procedió a fabricar todos estos elementos con el mismo hormigón con el que se realizaron los paneles de fachada.

Realización de cimientos en el Aparcamiento del NAT del aeropuerto de Madrid-Barajas.

4. APARCAMIENTO DEL N.A.T. DEL AEROPUERTO DE MADRID-BARAJAS

El contrato para la ejecución del edificio para Aparcamiento, Dársenas y Accesos Próximos del Nuevo Área Terminal del Aeropuerto de Madrid-Barajas, fue adjudicado a Dragados con un plazo de 37 meses.

El edificio para Aparcamiento, con una capacidad para 9.500 vehículos, se compone de 6 módulos, separados por juntas de dilatación, con 5 niveles bajo rasante. Cada uno de los 6 módulos tiene unas dimensiones de 81 m de ancho por 112 m de longitud, disponiendo de dos patios interiores de 10 x 7 m centrados sobre el eje medio.

La estructura es de hormigón armado, con modulación de 8 x 8 m entre pilares, siendo éstos de 50 cm de diámetro. La cimentación es directa sobre zapatas aisladas de 3 x 3 x 1,45 m. El forjado es reticular de 30 + 8 cm de espesor, formando una retícula de 80 x 80 cm y aligerado mediante la utilización de casetones recuperables.

La superficie total de la estructura de este edificio es de 262.500 m²

4.1. Movimiento de tierras

Se ha realizado, de acuerdo con el Programa de Trabajos, en 6 meses. Se han excavado 1.200.000 m³ de tierras, con un rendimiento medio de 10.000 m³/día, utilizándose 6 retroexcavadoras tipo KOMATSU PC750 SE-6 y 60 camiones para el transporte de las tierras al vertedero, situado a 8 km de distancia.

4.2. Cimentación

Se ha ejecutado con tres equipos de trabajo, para su ejecución en 8 meses.

El primero de los equipos, para realizar las zapatas (en total 1.016 unidades), avanzando a un ritmo de 8 ud/día, con el apoyo de una retroexcavadora y 2 camiones, 4 ofi-

Armado de pilares con esperas hasta la primera planta.

ciales ferrallistas y tres encofradores. El hormigonado de las zapatas se ha efectuado mediante vertido directo desde el camión hormigonera.

Teniendo en cuenta la dificultad de solapar las armaduras de los pilares con las esperas empotradas en la zapata, se ha optado por realizar el montaje del pilar de la planta baja con su espera y el solape con la armadura de la planta siguiente, en una sola pieza, con un importante ahorro en material, así como facilitando el montaje de las armaduras y el vibrado del hormigón de los pilares de la planta baja.

El segundo equipo de trabajo se ha dedicado a realizar el encofrado de los pilares de planta baja y su hormigonado. La dotación de personal para este equipo es de 4 encofradores, y realiza el hormigonado utilizando grúa y un caldero de 0,5 m³.

Hay que resaltar que el encofrado de todos los pilares del edificio, después de iniciar la obra utilizando moldes metálicos, se ha realizado con moldes perdidos circulares de cartón, que, además de dar un acabado mejor al hormigón, permiten una mayor holgura a los trabajos de hormigonado de pilares, al no estar condicionada esta actividad por la necesidad de reutilizar los moldes.

La calidad se ha mejorado notablemente al no existir juntas en el molde, por donde se pueda producir desprendimiento de lechada o acumulación de desencofrante, toda vez que el acabado exigido en el Proyecto es de hormigón visto.

El tercer equipo de cimentación, se dedicó a la ejecución de los trabajos de encachado y soleras, con un avance diario equivalente a los dos anteriores, es decir, por pastillas de 16 x 16 m.

El equipo estaba dotado con 3 operarios para el vertido del encachado y 4 para el hormigonado de la solera. Los encachados se vertían con grúa y cubos de 1,5 m³, mientras que el hormigón de las soleras era puesto en obra utilizando la grúa y recipientes de 1 m³.

4.3. Estructura

4.3.1. El sistema de encofrado de forjados con mesas

Para la ejecución de los 262.500 m² de estructura del Edificio de Aparcamiento en los 14 meses previstos, se ha utilizado un sistema de encofrado propio de Dragados, que comercializa la empresa DRACE, y que se basa en la utilización de las mesas de encofrado Hussor.

La mesa de encofrado consta de las siguientes partes:

1) Estructura metálica, compuesta por:

- dos vigas de celosía longitudinales compuestas por módulos de distintas longitudes,
- dos vigas transversales de las mismas características que las anteriores que, situadas en la parte inferior arriostran los pies de apoyo y marcan la separación de las vigas longitudinales,
- un número determinado de perfiles omega, colocados fijos en sentido transversal a igual distancia sobre las vigas de celosía longitudinales, que sirven de arriostramiento al estar en la parte superior, además de permitir el apoyo y fijación a los tableros aglomerados de la superficie encofrante.

2) Superficie encofrante, sobre la que se vierte el hormigón, formada por unos tableros aglomerados, atestados unos a otros en sentido longitudinal.

3) Pie standard con cremallera, para apoyo de la mesa sobre la solera o el forjado anterior.

4) Pie de apoyo con cremallera y rueda de plástico de 250 mm de diámetro. Las ruedas facilitan la extracción de la mesa al circular por la losa.

Este sistema facilita la ejecución industrializada de la estructura, permitiendo, dada su sencillez de funcionamiento,

Detalle de acabado en pilares.

Encachado de soleras.

Mesas de encofrado.

to, que la dotación de personal de los equipos de encofrado sea inferior en número a la que correspondería con un sistema de encofrado de otro tipo, así como disminuir la necesidad de utilizar oficiales de primera encofradores dentro del equipo, teniendo en cuenta la repetitividad de las tareas a realizar en cada ciclo de trabajo, que puede ser realizado correctamente por personal menos capacitado y de otras especialidades más disponibles en un mercado laboral como el presente, en el que se detecta escasez de mano de obra especializada y capacitada.

El sistema de mesas de encofrado ya ha sido expuesto con anterioridad en este artículo, en el caso de la obra de la Vila Universitaria de la UAB. En dicha obra, diseñada con muros perpendiculares a las fachadas y losas, la operación de movimiento de mesas debía realizarse siempre utilizando la grúa, al extraerse los encofrados por la fachada del edificio.

En el caso del edificio para aparcamiento del NAT de Barajas, la grúa queda liberada de esta tarea, teniendo en cuenta que por la longitud y ancho del edificio, así como por la disposición de los pilares, se puede mover las mesas de encofrado linealmente, en "travelling", no siendo necesario el uso de la grúa en todo el proceso, salvo en el caso de que hubiera que cambiar de planta los encofrados. La producción media por equipo y día de trabajo ha sido de 320 m².

4.3.2. Planificación de los trabajos: clave de la industrialización

Para la ejecución de las cinco plantas de forjado que constituyen la estructura del aparcamiento se han utilizado cuatro equipos de trabajo, formados por 12 personas, para el manejo de mesas de encofrado y hormigonado, 12 ferrallistas, una grúa, bomba de hormigonado, etc.

La clave para el dimensionamiento de los equipos de trabajo y de su funcionamiento diario, es el diagrama de actividades simultáneas, del que se adjunta un ejemplo, y que básicamente debe diseñarse a partir del recurso más rígido, en nuestro caso la grúa, haciéndola trabajar en condiciones próximas a la saturación. El estudio detallado del contenido de trabajo de cada una de las distintas operaciones a realizar por el equipo durante el ciclo, utilizando técnicas de Métodos, permiten ajustar los efectivos asignados a cada equipo, de manera que actúen con la máxima eficiencia posible, y de manera que pueda garantizarse el cumplimiento del ciclo durante todos los días previstos para la ejecución de la obra.

La experiencia en casos similares nos permite asegurar que se entra en régimen normal después de la primera semana de trabajo, que puede considerarse en la práctica como de adiestramiento del equipo para realizar las tareas repetitivas que se les demandan. Este tiempo puede ser algo mayor si está abierta la discusión sobre el sistema de incentivos a aplicar por el cumplimiento del ciclo.

En el caso del Aparcamiento de Barajas, el ciclo de trabajo de un equipo se desarrolla durante cuatro días, con un frente de trabajo igual al ancho del edificio (82 m) y un ancho de 16 m (longitud de cada mesa), que equivale a dos crujías.

En resumen, las tareas de cada equipo durante cada día son las mismas, actuando sobre una cuarta parte de la superficie (1.280 m²) total del citado ciclo de cuatro días.

Si cada ciclo de cuatro días se descompone en las cuatro secciones A, B, C y D, en una sección A cualquiera el trabajo a realizar sería:

Día 4n+1 – desencofrado del ciclo anterior, encofrado y ferrallado.

DIAGRAMA DE ACTIVIDADES SIMULTÁNEAS

	GRÚA	ENCOFRADORES										FERRALLAS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3		8	9	10			
8:00	Pinchar pilares (ciclo 122)	Subir patas centrales y bajar mesas			Desencofrar las tabicas							Pinchar pilares (ciclo 122)									
8:30	Subir ferralla (ciclo 123)																				
9:00	Encofrar pilares	Quitar puntales y tableros móviles y eslingarlos							Encofrar pilares												
9:30	(ciclo 122)																				
10:00	Hormigonar pilares	Alinear y nivelar mesas (ciclo 124)			Desencofrar casetones y chapas		Hormigonar pilares (ciclo 122)			Colocar ferralla (ciclo 123)											
10:30	(ciclo 122)																				
11:00	Trasladar tabicas, puntales y casetones (ciclo 124)	Colocar casetones y chapas de capiteles							Trasladar tabicas, puntales y casetones (ciclo 124)												
11:30																					
12:00																					
12:30																					
13:00	COMIDA																				
13:30																					
14:00																					
14:30		Colocar tabicas																			
15:00		Hacer remates de capiteles																			
15:30		Colocar puntales							Hormigonar con												
16:00		Limpiar y dar desencofrante							bomba (ciclo 123)												
16:30																					
17:00																					
17:30

Detalle del acabado del forjado reticular.

Detalle del equipo de mesas.

Día 4n+2 – hormigonado y tratamiento superficial.
Días 4n+3 y 4n+4 – Curado del hormigón.

En la tabla adjunta se puede visualizar el movimiento de los equipos de trabajo, y la fecha de inicio en cada sección de obra sobre la que actúa.

zona	A 1	B 1	C 1	D 1
comienzo día	1	2	3	4
zona	A 2	B 2	C 2	D 2
comienzo día	5	6	7	8
zona	A 3	B 3	C 3	D 3
comienzo día	9	10	11	12
zona	A (n-1)	B (n-1)	C (n-1)	D (n-1)
comienzo día	4 n-3	4 n-2	4 n-1	4 n
zona	A n	B n	C n	D n
comienzo día	4 n+1	4 n+2	4 n+3	4 n+4

Para mayor aclaración, en la siguiente tabla se relacionan las tareas que realiza el equipo en un día cualquiera, por ejemplo el día $4n+1$.

zona	A(n-1) Desencofrado	B(n-1) Curado	C(n-1) Curado	D(n-1) Hormigonado
zona	An Encofrado y ferralla	Bn	Cn	Dn

- 4 de ellas para cada uno de los equipos de estructura
- 1 para el equipo de soleras y pilares de planta baja
- 1 para evitar la pérdida de tiempo del equipo en los sucesivos cambios de posición de las grúas

Además del trabajo en las distintas zonas de forjado, el equipo realiza la parte de pilares correspondiente.

Para el hormigonado de los forjados se utiliza una bomba tipo Putzmeister, mientras que los pilares son hormigonados utilizando la grúa del equipo y un cazo de $0,5 \text{ m}^3$.

El plano adjunto refleja el estudio del posicionamiento y movimiento de las grúas previsto durante la obra.

Como máximo, se ha tenido 6 grúas montadas a la vez, teniendo en cuenta que son necesarias:

4.3.3. Estructura de la rampa de acceso

Cada uno de los seis edificios que constituyen el aparcamiento, tiene, en una de las fachadas, situado el núcleo de rampas de acceso.

La realización de esta estructura de las rampas se ha acometido con independencia de la estructura del edificio de aparcamiento, y una vez liberada cada zona de la influencia de las grúas utilizadas en la construcción de la estructura de éste.

Avance de los equipos de estructura.

Rampas de acceso.

Detalle de la estructura vista de la fachada Sur.

Detalle de armado en forjado.

BIBLIOGRAFÍA

AVELLANEDA, J. (1996). La construcción de fachadas de piedra. *Tectónica 2 – Cerramientos Pesados: aplacados y paneles*. ATC Ediciones. Madrid.

BARTH, F. (1997). GRC panels on the facade of a residential building. Proc. *The living building in Europe toward the third millennium*. Dipartimento di Ingegneria Edile. Università degli Studi di Napoli Federico II. Napoli. p. 247-255.

BURÓN MAESTRO, M. "La prefabricación en Edificación. Estado del arte en España". *Hormigón y Acero* nº 198 (1995)

BUXADÉ, C. et al (1993). Una evolución de los problemas actuales de las construcciones de hormigón en España. *ANEFHOP – IECA*. Madrid.

BUXADÉ, C. y MARGARIT, J. "Alojamiento y Área Comercial en la Universidad Autónoma de Barcelona". Jornadas sobre "Racionalización y producción en la vivienda social". - IVIMA. (1993)

CALAVERA RUIZ, J. & GONZÁLEZ VALLE, E. (1994). Juntas en construcción de hormigón. *Cuadernos INTEMAC*. Nº. 14.

CARACOLA . Guía para la utilización del GRC. Caracola Edificaciones Modulares. Madrid.

CEB-FIP (1978). Código Modelo. Comité Euro International du Beton.

CEMFISA . Manual general del GRC. Madrid.

CHARLOT-VALDIEU, C. (1992). Les composite ciment-verre produits et marchés en Europe. *CSTB Magazine*. nº 55. Juin. Paris.

FERNÁNDEZ ORDOÑEZ, J. A. et al. (1974) Prefabricación: teoría y práctica. Editores Técnicos Asociados. Barcelona.

FIP - ATEP.- Estructuras de hormigón prefabricadas. (1984)

FLOREZ, J. & MARQUEZ, E. (1991). Olympic Village and Expo 92 projects. Organization requirements of large contracts. 8th Glass Reinforced Cement Association Congress. Maastricht.

FLOREZ, J. et al. Robot de Proyección y automatización de factoría para la fabricación de paneles con GRC. *Sigma* Nº 11. Madrid.

HALFEN (1994). Halfen Cast-in Channels and accessories. Halfen GmbH & Co. KG. Langenfeld.

IECA-ANDECE (1996). Edificación con prefabricados de hormigón para usos industriales, comerciales, aparcamientos y servicios. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. Madrid.

LARSEN, H. (1975) Recent Danish facade joint design. Institute of Building Design. Report Nº 110. Lyngby.

MAJUMDAR, A. J. AND LAWS, V. (1991) Glass Fibre Reinforced Cement. BSP Professional Books-Blackwell S.P. Ltd. Oxford.

OLIVARES SANTIAGO, M. (1997). Composites: los nuevos materiales de la construcción. Composición y características técnicas. In: *Façanes lleugeres, els nous plafons*. Col·legi d'aparelladors i arquitectes tècnics de Barcelona. Barcelona.

PARICIO ANSUATEGUI, I. (1979) "Análisis de las áreas de compatibilidad entre construcción e industrialización. Los semiproducidos y otras alternativas. Tesis doctoral. ETSAB-UPC

PENADÉS, J. "Robotized cell of prefabricated panels". 16th IARCC/IFAC/IEEE International Symposium on Automation and Robotics in Construction. (1999)

PENADÉS MARTÍ, J. – "La Vila Universitaria de la Universidad Autónoma de Barcelona". SYGMA-9. 1992.

PENADÉS MARTÍ, J. "Caso práctico de construcción prefabricada". V Jornadas sobre "Otros hormigones" ETS de Arquitectura de Sevilla (1997)

PENADÉS MARTÍ, J. "La prefabricación en la Edificación". Seminario CEMCO – IETCC sobre "industrialización y Prefabricación en Edificación y Obra Civil". (2001)

PILKINGTON (1985). Cem –FIL GRC technical data. Pilkington Reinforcements Ltd. St Helens.

P.C.I. (1993). Architectural precast concrete. Prestressed Concrete Institute. Illinois.

RODRÍGUEZ SANTIAGO, J. (1987). Mortero de cemento reforzado con fibra de vidrio. Colegio de Aparejadores y arquitectos Técnicos. nº 103. Madrid.

TOUZA RODRÍGUEZ, J.; MONJO CARRIÓ, J. (1976). Paneles prefabricados de fachadas. Asociación de Investigación de la Construcción. Ediciones del Castillo S.A. Madrid.